Lección 2: Tensiones horizontales en los suelos.

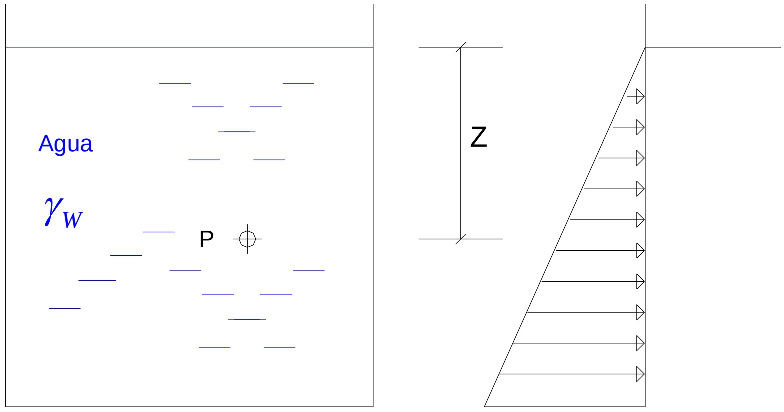
<u>Tensiones en un fluido (agua de un suelo, en este caso)</u>

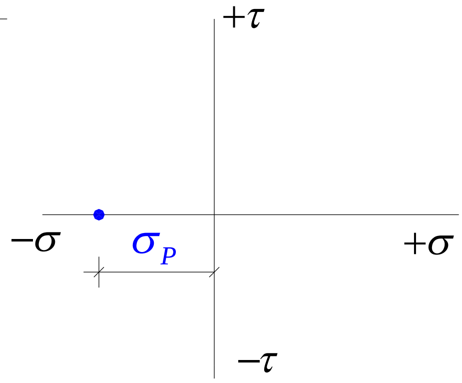
La presión vertical en un punto cualquiera "P" de un liquido a una profundidad «z» es el peso de la columna de agua existente por encima de ese punto y es igual a:

$$\sigma v_P = \gamma_W * z$$

De la estática de fluidos sabemos que el presión horizontal en un punto "P" en el interior de un fluido en reposo depende de su peso específico y de la profundidad del punto estudiado y es igual a:

$$\boxed{\sigma h_P = \gamma_W * z}$$





Ley de presiones horizontales. $\boxed{\sigma h_P = \gamma_W * z}$

Circulo de Mohr

Tensión en el punto "P".

La tensión en un punto "P" del agua a una profundidad "**z**" es: $\boxed{\sigma_P = -\gamma_W * z}$

Además conocemos que la tensión es igual en todas direcciones.

$$\sigma v = \sigma hx = \sigma hy$$

Que expresadas en unos ejes generales tridimensionales: "X", "Y", "Z"

$$\sigma z = \sigma x = \sigma y$$

Su representación con un circulo de Mohr es un punto y su signo negativo al tratarse de una compresión

En consecuencia, todas las tensiones son principales y no hay tensiones tangenciales: τ

La propiedad más importante de los fluidos es la <u>Viscosidad</u>, que se define como:

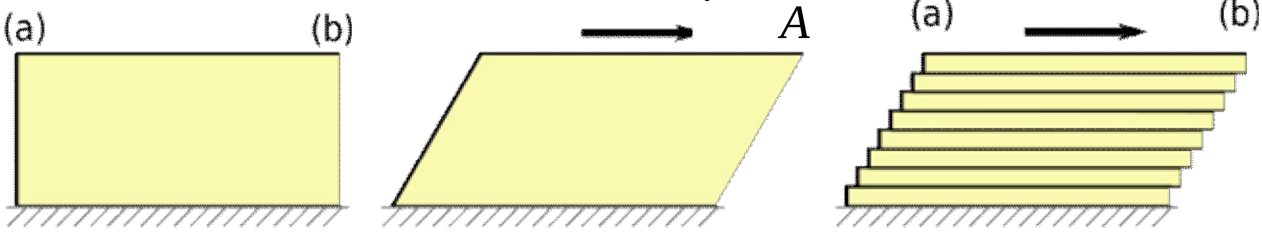
"Es la resistencia de un fluido a las deformaciones tangenciales o comúnmente la resistencia de un liquido a fluir"

Los fluidos y la resistencia a cortadura.

Definición de fluido:

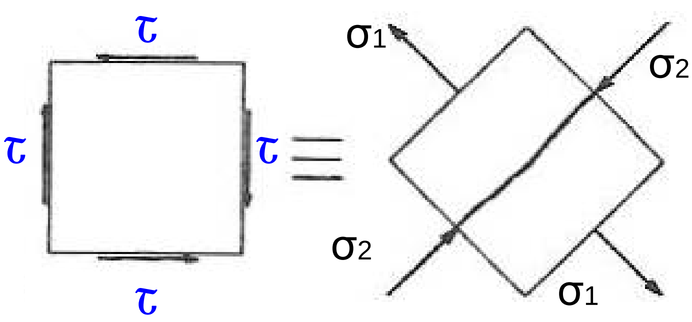
Un fluido es una sustancia que se deforma continuamente cuando se le somete a una tensión de cortadura, por pequeña que esta sea.

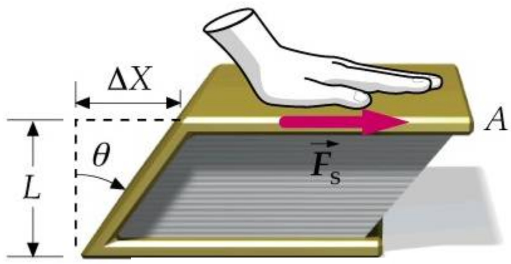
$$\tau = \frac{F}{A}$$



Sustancia | Sólido | Fluido idealizado

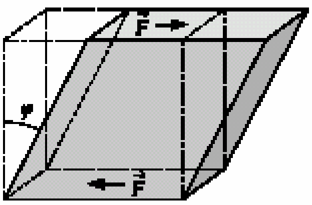
En la mecánica del sólido elástico:





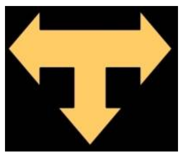
$$\gamma = \tan\theta = \frac{\Delta x}{L}$$

$$\gamma = distorsión \quad angular$$



$$\tau = \frac{F}{A}$$

Esfuerzo: τ



Deformación: γ

$$\tau = G\gamma$$

G : módulo de elasticidad transversal.

En la mecánica de fluidos:

La relación "Δx / L" es la velocidad angular de la línea "a-b", o la velocidad angular de la deformación del fluido.

De manera experimental comparando varios fluidos se deduce que: $\tau = \mu * \frac{\Delta x}{L}$

Siendo "μ" el factor de proporcional que hace intervenir el efecto del fluido concreto de que se trate.

La forma diferencial se debe a Newton y puede escribirse:

$$\tau = \mu * \frac{dx}{dy}$$

(Ley de Newton)

El empuje horizontal en los suelos.

El factor de proporcionalidad “μ” es precisamente la viscosidad del fluido.

El aceite es más viscoso que el agua, aunque su peso específico es menor.

Los fluidos cuanto más viscosos menos salpicadura producen.

Las sustancias más viscosas comienzan a parecerse a los sólidos.

Para finalizar la idea a transmitir es que los fluidos no pueden soporta tensiones de cortadura, en tanto que los sólidos si pueden.

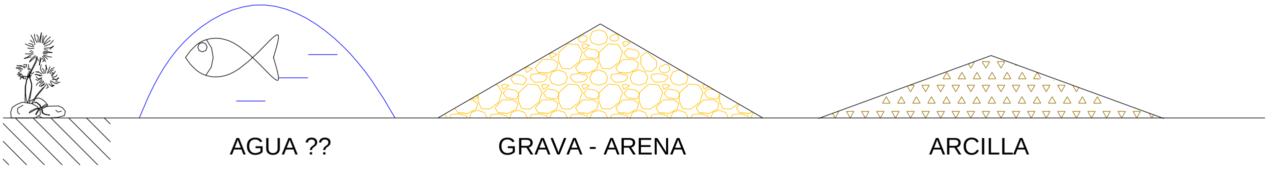
La diferencia de comportamiento mecánico entre un fluido y otro viene dada por la viscosidad de cada uno.

Tensiones horizontales en los suelos

Volviendo a la evaluación de las tensiones horizontales en los suelos.

Las sustancias sólidas no fluyen y por tanto el cálculo de las tensiones no puede ser igual que en el caso que hemos estudiado del agua.

Por ejemplo, si queremos hacer con las manos un motón de agua observamos que no es posible, en cambio si podemos hacer un motón de arena o hacerlo con una tierra arcillosa.

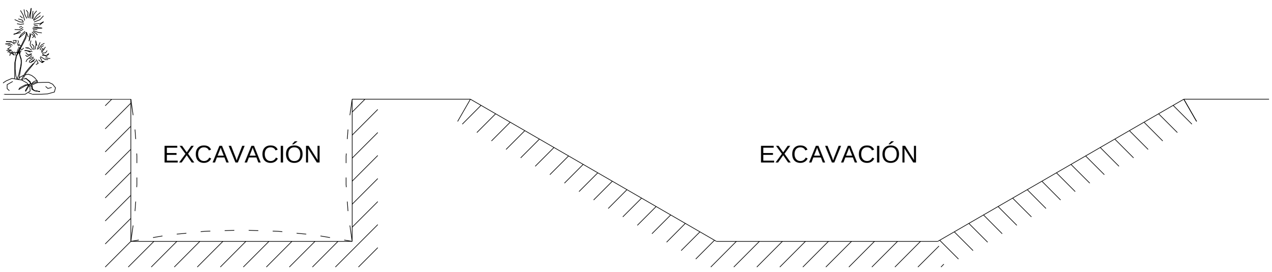


AGUA ?? — No estable

GRAVA - ARENA — Ángulo cono estable 30º; Ángulo rozamiento interno 30º

ARCILLA — Ángulo cono estable 20º; Ángulo rozamiento interno 20º

Por otro lado si hacemos una excavación en un terreno observamos que la paredes se deforman evidenciando la presencia de tensiones horizontales



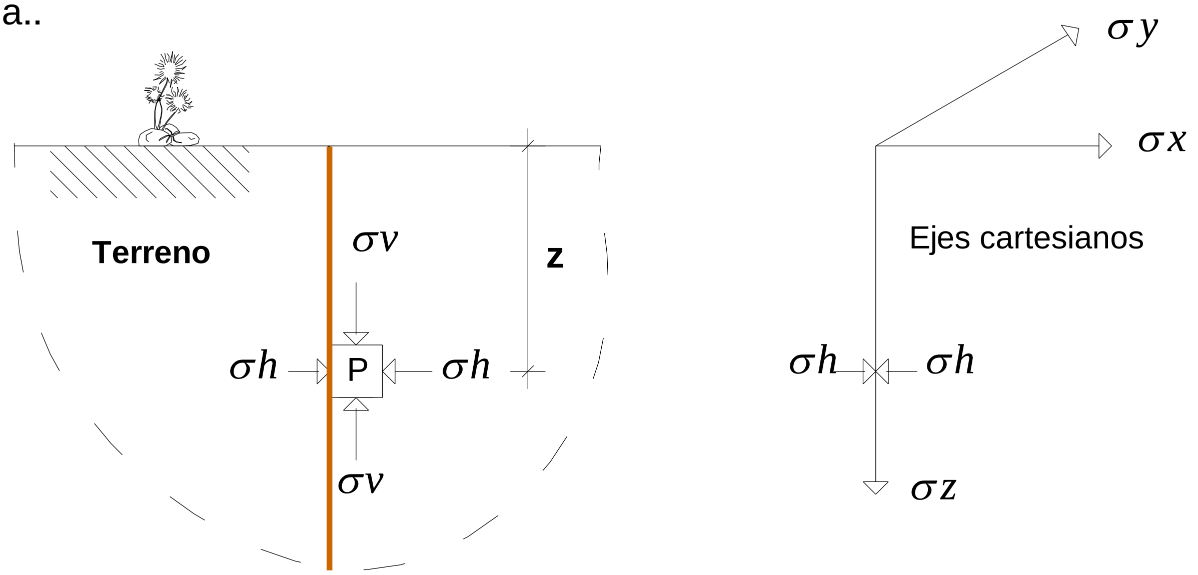
Terreno consistente
Terreno con cohesión

Terreno sin consistencia
Terreno sin cohesión

Tensiones horizontales en los suelos.

Cálculo de las tensiones horizontales en los suelos.

La obtención en un punto "P" del terreno de las tensiones horizontales "σh", a partir de las tensiones verticales "σv" es un problema más complejo que el del agua..



<u>Calculo de las tensiones horizontales en los suelos</u>

Una forma de estudiar el problemas es suponer que el suelo es un material totalmente elástico y entonces el problema puede resolverse mediante la teoría de la elasticidad.

Entre las tensiones horizontales y verticales existe una relación de la forma: $\boxed{\sigma h = Ko * \sigma v}$

El coeficiente" ***<u>Ko</u>***" que relaciona la tensión vertical con la horizontal es el denominado <u>coeficiente de empujé al reposo</u> del suelo.

(Este tipo de empuje del terreno, sin alterar el terreno, es el que hay que utilizar por ejemplo, en la evaluación del <u>empuje geotécnico contra un muro de sótano</u> empotrado en la cimentación y apoyado en los forjados superiores)

Jaky J. propone en 1944, para arenas y suelos normalmente consolidados la fórmula:

$$Ko = 1 - sen\phi^{/}$$

Siendo ***Ø/*** el ángulo de rozamiento interno efectivo del terreno.

La fórmula utilizada por CTE es:. $\boxed{Ko = (1 - sen\phi^{/}) * (Roc)^{1/2}}$

Siendo Roc la razón de sobreconsolidación (cociente entre la presión efectiva de sobreconsolidación y la presión efectiva actual).

Se reproduce a continuación el apartado correspondiente de CTE

Tomás Cabrera (U.P.M.)

La teoría de la elasticidad aplicada a los suelos.

6.2.4 Cálculo del coeficiente de empuje en reposo K_o

1 Es difícil su determinación por depender de los esfuerzos tectónicos a los que haya estado sometido el terreno en su historia geológica, del grado de consolidación y de la compacidad alcanzada por el terreno natural o artificialmente. A falta de una valoración basada en la experiencia local, ensayos "in situ", información geológica u otras, puede estimarse con los siguientes criterios:

a) Para una superficie de terreno horizontal, el coeficiente K_o de empuje en reposo, que expresa la relación entre las tensiones efectivas horizontal y vertical (esto es, el peso de las tierras), se puede determinar mediante:

$$K_0 = (1 - \text{sen}\ \phi')\cdot(R_{oc})^{1/2} \qquad (6.9)$$

siendo

ϕ' el ángulo de rozamiento interno efectivo del terreno

R_{oc} la razón de sobreconsolidación definida en el anejo A de este DB. La fórmula no se debería utilizar para valores extremadamente altos de R_{oc}, superiores a 25-30.

b) Si el terreno se eleva a partir del muro con un ángulo $i \leq \phi'$ con respecto a la horizontal, la componente horizontal del empuje de tierras efectivo σ'_{ho} se puede relacionar con la tensión efectiva debida al peso por la relación K_{oi} que es igual a:

$$K_{oi} = K_0\cdot(1 - \text{sen}\ i) \qquad (6.10)$$

La dirección del empuje de tierras se puede suponer, entonces, paralela a la superficie del terreno.

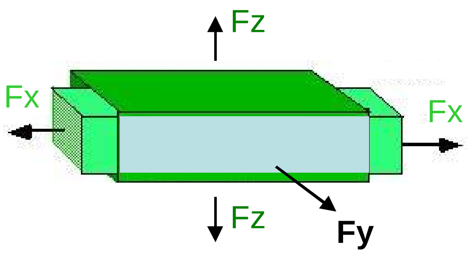
Si suponemos que el terreno está "en reposo", no podrá deformarse en el sentido horizontal, al estar confinado por el propio terreno

Las ecuaciones de la elasticidad que relacionan tensiones y deformaciones son:

$$\xi x = \frac{1}{E}\left[\sigma x - \nu(\sigma y + \sigma z)\right]$$

$$\xi y = \frac{1}{E}\left[\sigma y - \nu(\sigma x + \sigma z)\right]$$

$$\xi z = \frac{1}{E}\left[\sigma z - \nu(\sigma x + \sigma y)\right]$$



Dirección x

Fx → σ_x → ε_x

$\varepsilon_x = \sigma_x / E$

Fz → σ_z → ε_x

$\varepsilon_z = \sigma_z/E$

$\varepsilon_x = -\nu^*\varepsilon_z = -\nu^*\sigma_z/E$

Fy → ε_x

$\varepsilon_x = -\nu^*\varepsilon_y = -\nu^*\sigma_y/E$

Dado que no existe deformación lateral: $\xi x = \xi y = 0$

Y en consecuencia: $\sigma x = \sigma y \quad \Rightarrow \quad \xi x = \xi y = \frac{1}{E}\left[\sigma x - \nu(\sigma x + \sigma z)\right] = 0$

$$\sigma x - \nu(\sigma x + \sigma z) = 0 \quad \rightarrow \quad \sigma x(1-\nu) - \nu\sigma z = 0$$

De donde se deduce: $\sigma x = \frac{\nu}{1-\nu} * \sigma z \quad \Rightarrow \quad \boxed{\sigma h = \frac{\nu}{1-\nu} * \sigma v}$

Por lo tanto según la elasticidad el coeficiente Ko es: $\boxed{Ko = \frac{\nu}{1-\nu}}$

Para un material perfectamente elástico $\nu = 0,3$ entonces: $Ko = \frac{0,3}{1-0,3} = 0,428$

Según Jaky: Ko = 0,428 = 1– sen Ø Que corresponde a un ángulo: $\phi = 35^o$

Tensión horizontal en suelos saturados.

El coeficiente de empuje para pasar de tensiones verticales a tensiones horizontales, únicamente es válido si se aplica a tensiones efectivas.

Como en el agua las tensiones son iguales en cualquier dirección, su coeficiente de empuje es igual a la unidad, decir, **Kow = 1.**

En un suelo la relación ente tensiones verticales totales y efectivas es: $\sigma v = \sigma^{/} v + u$

En cuanto a las tensiones horizontales la relación, por superposición, será:

$$\sigma h = (Ko * \sigma^{/} v) + (Ko_{W} * u) = (Ko * \sigma^{/} v) + u = \sigma^{/} h + u$$

Siendo σh la tensión horizontal total y $\sigma^{/} h$ la tensión horizontal efectiva.

El coeficiente de empuje al reposo sigue siendo objeto de investigación.

Finalmente insistir en recordar que para pasar de tensiones verticales a tensiones horizontales en un suelo, es necesario separar las tensiones efectivas de las presiones intersticiales debidas al agua. Afectando únicamente a las tensiones de la parte sólida el coeficiente de empuje.

En suelos saturados:

$$\boxed{\begin{array}{l} \sigma v = \sigma' v + u \\ \sigma h = (Ko * \sigma' v) + u \end{array}}$$

Tensión vertical total

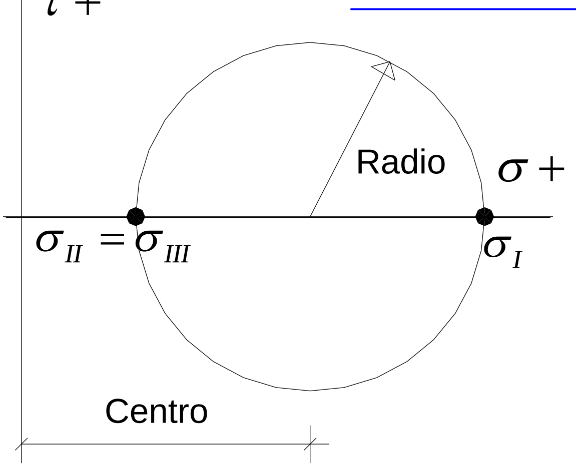
Tensión horizontal total = efectiva + u

En tanto que en suelos con humedad natural no saturados:

La tensiones totales y efectivas coinciden

$$\boxed{\begin{array}{l} \sigma v = \sigma v^{/} = \gamma * z \\ \sigma h = (Ko * \sigma v) \end{array}}$$

Conociendo las tensiones en dos planos perpendiculares puede ser útil conocer las tensiones en un punto "P" del terreno en cualquier otro plano que no sea horizontal ni vertical. Utilizaremos para este propósito el circulo de Mohr bidimensional.



La novedad con el estudio clásico del círculo de Mohr es que:

Al igual que en matemáticas, dibujamos con preferencia en el primer cuadrante, ahora tomaremos la **compresión con signo positivo** ya que nunca tendremos tracciones en los terrenos.